

Method and device for the correction of DC-levels in direct conversion receivers

Patent number: EP0598277

Publication date: 1994-05-25

Inventor: KLUGE WOLFRAM (DE); JEHRING FRIEDER (DE); KRAUSE FRANK-MICHAEL (DE)

Applicant: HAGENUK TELECOM GMBH (DE)

Classification:

- International: H03D3/00

- european: H03D3/00C1

Application number: EP19930117761 19931103

Priority number(s): DE19924238542 19921114

Also published as:

EP0598277 (B1)

DE4238542 (C1)

Cited documents:

DE3938643

EP0496621

EP0343273

Abstract of EP0598277

The radio-frequency signal received is mixed in two mixers with signals of a local oscillator which are phase-shifted by 90°. This results in two low-frequency IF signals (I, Q) which are in quadrature. In the absence of other distortion, I and Q signal span a circle in the complex plane, which circle is shifted from the centre point. The centre point coordinates are determined and subtracted from the I and Q signals.

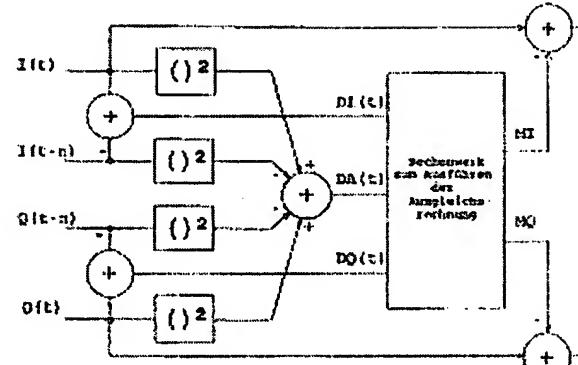


Fig. 3

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 598 277 A1**

⑫

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑬ Anmeldenummer: **93117761.2**

⑮ Int. Cl. 5: **H03D 3/00**

⑭ Anmeldetag: **03.11.93**

⑯ Priorität: **14.11.92 DE 4238542**

D-01309 Dresden(DE)

Erfinder: **Jehring, Frieder**

Karlsruher Strasse 91

D-01189 Dresden(DE)

Erfinder: **Krause, Frank-Michael**

Hochschulstrasse 19

D-01069 Dresden(DE)

⑯ Veröffentlichungstag der Anmeldung:

25.05.94 Patentblatt 94/21

⑯ Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

⑰ Anmelder: **HAGENUK GMBH**

Westring 431

D-24118 Kiel(DE)

⑰ Vertreter: **Drömer, Hans-Carsten**

Preussag AG,

Patente und Lizenzen,

Karl-Wiechert-Allee 4

D-30625 Hannover (DE)

⑰ Erfinder: **Kluge, Wolfram**

Wormser Strasse 84

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Korrektur von DC-Anteilen bei direktmischenden Empfangseinrichtungen.

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von DC-Anteilen in Empfangssignalen bei direktmischenden Empfangssystemen. Das empfangene hochfrequente Signal wird in zwei Mischern mit um 90° phasenverschobenen Signalen eines lokalen Oszillators gemischt. Hierbei entstehen zwei in Quadratur stehende niederfrequente ZF-Signale (I, Q). I- und Q-Signal spannen in der komplexen Ebene bei Fehlen sonstiger Verzerrungen einen Kreis auf, der vom Mittelpunkt verschoben ist. Es werden die Mittelpunktskoordinaten bestimmt und von den Signalen I und Q subtrahiert.

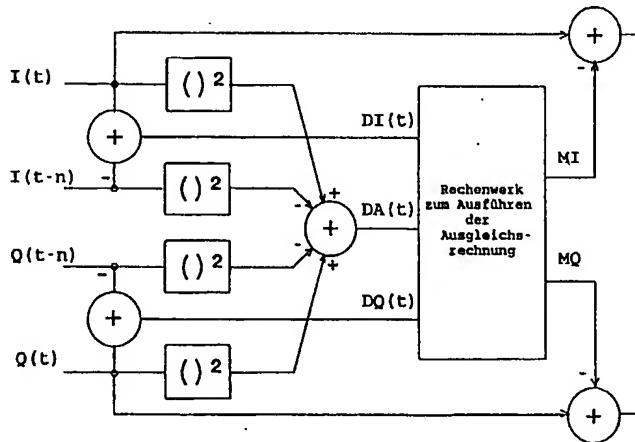


Fig. 3

EP 0 598 277 A1

Method and device for the correction of DC-levels in direct conversion receivers

Description of EP0598277

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von DC-Anteilen in Empfangssignalen bei direktemischenden Empfangssystemen.

Bei Direct-Conversion-Empfängern, die gelegentlich auch als Homodynempfänger oder Null-ZF-Empfänger bezeichnet werden, wird das empfangene, winkelmodulierte Hochfrequenzsignal (HF-Signal) mit dem Signal eines lokalen Oszillators (LO) gemischt, dessen Frequenz näherungsweise der Trägerfrequenz des HF-Signals entspricht. Da das LO-Signal ungefähr die gleiche Frequenz aufweist wie das HF-Signal, entsteht nach der Mischung ein Zwischenfrequenzsignal (ZF-Signal), das im niederfrequenten Bereich (NF-Bereich) liegt. Mathematisch gesehen entstehen bei der Mischung zeitweise negative Frequenzen, die aber in der Praxis nicht von den positiven Frequenzen unterschieden werden können. Zur Aufrechterhaltung der vollen Information ist es bei Direct-Conversion-Empfängern notwendig, zwei um 90 DEG zueinander verschobene ZF-Signale zu bilden. Dazu sind zwei Mischer vorhanden, an die das HF-Signal und das LO-Signal angelegt werden, wobei das an die eine Mischstufe angelegte HF- oder LO-Signal gegenüber dem entsprechenden, an die andere Mischstufe angelegten, Signal um 90 DEG phasenverschoben ist. Die eine Mischstufe, vor der keine Phasenverschiebung folgt, erzeugt ein erstes ZF-Signal, das als in-phase-Signal (I) bezeichnet wird. An dem zweiten Mischer wird ein zweites ZF-Signal erzeugt, das zum ersten ZF-Signal um 90 DEG phasenverschoben ist und das als Quadratursignal (Q) bezeichnet wird. Die beiden ZF-Signale (I), (Q), werden über jeweils ein Tiefpassfilter zur Selektion eines Empfangskanals und einen ZF-Verstärker geführt. Die verstärkten und gefilterten Signale können einem Demodulator zugeführt werden. Da die ZF-Signale im NF-Bereich liegen, werden an den ZF-Verstärker keine hohen Anforderungen gestellt und es besteht die Möglichkeit, ZF-Filter sowie Demodulator nach Analog-Digital-Wandlung der ZF-Signale in einem Rechenwerk digital zu realisieren. Hierzu bieten sich digitale Signalprozessoren als kostengünstige Lösung an. Insbesondere ist die Verwendung von Festkommarechnern angestrebt. Gegenüber herkömmlichen Super-Heterodynempfängern haben Direct-Conversion-Empfänger den Vorteil, dass das Problem der Spiegelfrequenzunterdrückung nicht auftritt und daher keine schmalbandigen HF-Filter für die Vorselektion vor dem Mischer und für die ZF-Signale benötigt werden. Direct-Conversion-Empfänger sind deshalb für eine vollständig integrierte Lösung geeignet.

Trotz dieser Vorteile ist bis heute das Konzept des Direct-Conversion-Empfängers in keinem nennenswerten Umfang eingesetzt worden. Ein Grund dafür ist, dass Signale mit der Frequenz 0 (Gleichanteile) mit zum ZF-Spektrum gehören. Daher stellt jeder Gleichspannungsoffset in den ZF-Kanälen eine Störfrequenz im Empfangsbereich dar, deren Auswirkungen sich prinzipiell nicht beseitigen sondern nur verringern lassen. Gleichspannungsoffsets entstehen aber nahezu unvermeidlich in den Mischnern durch Übersprechen der HF-Signale an den Mischereingängen, bei grossen Empfangssignalen durch Multiplikation mit sich selbst an der nichtlinearen Mischereingangskennlinie und durch Bauelementetoleranzen als statische Größen im Mischer sowie im ZF-Verstärker. Die Gleichspannungsoffsets können unter Umständen wesentlich grösser sein als das DC-Nutzsignal. Der DC-offset wird üblicherweise mittels eines Hochpasses (AC-Kopplung) abgetrennt. Hierbei geht jedoch auch der DC-Nutzsignal verloren, was zu einer Erhöhung des Klirrfaktors führt.

Eine technische Lösung für die bei Direct-Conversion-Empfängern entstehenden Fehler ist es, das Auftreten solcher Fehler möglichst zu vermeiden, indem besonders sorgfältig ausgewählte Bauelemente eingesetzt werden. Dies ist aber mit erheblichem Aufwand verbunden.

Andererseits könnte ein technischer Lösungsansatz darin bestehen, die Fehler nicht zu gross werden zu lassen und zum Beispiel in einem Regelwerk auszugleichen.

In DE 39 38 643 A1 wird ein Verfahren beschrieben, mit dem durch eine langsame Regelung die DC-Offsets ausgeglichen werden. Hierfür wird eine Mittelwertbildung über zahlreiche Zeigerumläufe des durch die I- und Q-Signale beschriebenen Vektors verwendet. Dies bedingt eine lange Regelung. Schnelle, insbesondere auch sprunghafte Änderungen der DC-Offsets werden nicht genügend schnell erkannt.

Aufgabe der Erfindung war es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von DC-Anteilen in empfangenen Signalen bei direktmischenden Empfangssystemen anzugeben, die eine schnelle Kompensation der DC-Anteile unter Verwendung möglichst einfacher Prozessoren, insbesondere möglichst einfacher digitaler Signalprozessoren, erlaubt.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch ein Verfahren nach dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 beziehungsweise durch eine Vorrichtung nach dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 5.

Fehlerfreie I- und Q-Signale bilden bei der Darstellung im kartesischen Koordinatensystem einen Kreis in Mittelpunktslage. Der Amplitudentehler bewirkt ein Strecken oder Stauchen des Kreises in Achsenrichtung. Ein Phasenfehler bewirkt, dass der Kreis bezüglich einer 45 DEG -Geraden gestaucht beziehungsweise gestreckt wird. In beiden Fällen wird der Kreis zur Ellipse verformt. Eine Verlagerung der Ellipse aus dem Ursprung wird durch Gleichspannungsoffsets hervorgerufen. Bei dem erfindungsgemässen Verfahren wird davon ausgegangen, dass eine Korrektur von Amplituden- und Phasenfehlern unabhängig von Gleichspannungsoffsets bereits erfolgt ist.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Direct-Conversion-Empfängers;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Kompensation von DC-Offsets;

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäss Verfahren und die Vorrichtung.

Fig. 1 zeigt die Verwendung des erfindungsgemässen Verfahrens beziehungsweise der Vorrichtung in einem Direct-Conversion-Empfänger. Das von der Antenne 1 empfangene HF-Signal durchläuft ein Eingangsfilter 2 und wird vom Vorverstärker 3 verstärkt. Durch das Mischpaar 6, 7 wird das HF-Signal direkt in das Basisband umgesetzt. Die Mischer 6, 7 werden von einem Signal des lokalen Oszillators 4 (LO-Signal) angesteuert, wobei in diesem Ausführungsbeispiel der Mischer 7 ein um 90 DEG phasenverschobenes LO-Signal erhält. Die Frequenz des LO-Signals entspricht näherungsweise der Trägerfrequenz des zu empfangenden FM-Signals. An den Ausgängen der Mischer 6 und 7 liegen die niederfrequenten Basisbandsignale an. Die Spektren dieser Signale entsprechen dem in den niederfrequenten Bereich um die Trägerfrequenz verschobenen FM-Spektrum. Das Signal vom Mischer 6 wird als I-Signal und das dazu um 90 DEG phasenverschobene Signal von Mischer 7 als Q-Signal bezeichnet. Die I- und Q-Signale werden weiter über Hochpässe 8, 9 zum Abtrennen von Gleichspannungsoffsets geleitet. Die folgenden Tiefpässe 10, 11 bilden das Kanalfilter des Empfängers zur Selektion eines Übertragungskanals aus dem Empfangsspektrum. In den Verstärkern 12, 13 wird der Pegel der I- und Q-Signale auf einen für die weitere Verarbeitung nötigen Wert angehoben. Das erfindungsgemäss Korrekturverfahren und die Vorrichtung sind im Mittel 15 realisiert. Letzteres liefert an seinen Ausgängen die Signale IK und QK, in denen DC-Offsets kompensiert sind. Mit diesen Signalen kann unmittelbar die Demodulation erfolgen.

Die Arbeitsweise des Korrekturgliedes 15 wird anhand von Fig. 2 und 3 im Rahmen eines Ausführungsbeispiels beschrieben.

In dem erfindungsgemässen Verfahren wird im Mittel 15 in Fig. 1 erreicht, dass sich der von den gegebenenfalls korrigierten ZF-Signalen (I, Q) gebildete Kreis immer in Mittelpunktslage befindet. Dazu muss der Mittelpunkt des Kreises (MI, MQ) bestimmt und dieser Wert von den ZF-Signalen (I, Q) subtrahiert werden. Die auf diese Weise korrigierten ZF-Signale werden zur verzerrungsfreien Demodulation dem Demodulator 16 zugeführt.

Fig. 3 zeigt das Verfahren zur Mittelpunktkorrektur. Es wird davon ausgegangen, dass mit abgetasteten Proben der I- und Q-Signale gearbeitet wird. Die zum Zeitpunkt t und zum n Takte früheren Zeitpunkt t-n vorliegenden Abtastwerte der I- und Q-Signale werden jeweils in einer Multiplizierstufe zum Bilden der Quadrate mit sich selbst multipliziert. Die quadrierten Signale zum Zeitpunkt t gehen mit positiven und die quadrierten Signale zum Zeitpunkt t-n mit negativen Vorzeichen an einen Addierer, der das Signal DA(t) liefert. Weiterhin wird die Differenz vom I- bzw. Q-Signal zum jeweils n Takte zurückliegenden Zeitpunkt gebildet, so dass die Signale DI(t) und DQ(t) entstehen. In einem nachfolgenden Rechenwerk wird aus den Abtastwerten der drei Signale DA(t), DI(t) und DQ(t) anhand der Gleichung (1) EM16.1 eine Ausgleichsrechnung unter Zuhilfenahme von N Zeitpunkten der Signalvergangenheit durchgeführt, mit dem Ziel, die Fehlergrösse W zu minimieren. Die so gewonnenen Mittelpunktskoordinaten MI(t) und MQ(t) werden in Subtrahierstufen von den I- bzw. Q-Signalen subtrahiert.

Zur Beschreibung dieses Verfahrens dient Fig. 3. Die vollständige Beschreibung eines Kreises ist durch drei Größen gegeben: der Radius R und die Mittelpunktkoordinaten MI und MQ . Eine Ausgleichsrechnung am Kreis würde zu einem Gleichungssystem mit 3 Unbekannten führen, dessen Lösung einen erheblichen Rechenaufwand erfordert. Da der Radius R jedoch zur Demodulation des winkelmodulierten Signals nicht benötigt wird, ist es nicht erforderlich, alle Größen in einem Gleichungssystem zu ermitteln. Für eine Menge von N Punkten auf einem Kreis sind die Abstandsdifferenzen nur dann ein Minimum, wenn sie zum Mittelpunkt bezogen sind. In Gleichung (3) werden zur Vereinfachung die Quadrate der Radiussicherungen zweier um n Abtastperioden auseinanderliegender Kreispunkte in Abhängigkeit vom Mittelpunkt (MI , MQ) erfasst und die Fehlergröße W gebildet (wobei im allgemeinen $n = 1$ ist). Dies erhält man durch den Ansatz

$$R^2(t) - R^2(t-n) = DR^2 \quad (3)$$

$$(I(t) - MI)^2 + (Q(t) - MQ)^2 - (I(t-n) - MI)^2 - (Q(t-n) - MQ)^2 = DR^2 \quad (5)$$

Durch Ausmultiplizieren erhält man

$$I^2(t) + Q^2(t) - I^2(t-n) - Q^2(t-n) + 2 * MI * (I(t) - I(t-n)) + 2 * MQ * (Q(t) - Q(t-n)) = DR^2 \quad (6)$$

Durch Substitution von

$$DA = I^2(t) + Q^2(t) - I^2(t-n) - Q^2(t-n) \quad (7)$$

und

$$DI = I(t) - I(t-n) \text{ bzw. } DQ = Q(t) - Q(t-n) \quad (8)$$

erhält man Gleichung (1) EMI8.1 Die Minimierungsaufgabe besteht darin, die Summe der Quadrate von N Fehlergrößen W , die aus $N+1$ aufeinanderfolgenden Abtastwerten der Signale I und Q gewonnen wurden, durch eine Ausgleichsrechnung nach I.O. Kerner, Numerische Mathematik mit Kleinrechnern, Berlin 1985 (quasilineare Regression) zu minimieren. Für jede Unbekannte (Mittelpunktskoordinate) wird eine partielle Ableitung der Funktion $W(G)$ vorgenommen. EMI8.2 Nach Nullsetzen der beiden Ableitungen erhält man das Gleichungssystem EMI8.3 dessen Lösung die gesuchten Mittelpunktskoordinaten sind.

Die nach Fig. 3 bestimmten, korrigierten Signale IK und QK können unmittelbar in dem FM-Demodulator 16 (Fig. 1) demoduliert werden.

Die Demodulation kann vorteilhafterweise bei Verwendung eines digitalen Signalprozessors zusammen mit den anderen Korrekturschritten ausgeführt werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung können die Korrekturen des DC-Offsets äußerst schnell durchgeführt werden. Es können auch grosse Fehler ausgeglichen werden, so dass weder an die Bauteile der HF-Eingangsstufe noch der Misch- und NF-Stufe besondere Anforderungen zu stellen sind. Hierdurch wird erstmals die Möglichkeit eröffnet, direktemischende Empfangssysteme in grösserem Umfang einzusetzen.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Method and device for the correction of DC-levels in direct conversion receivers

Claims of EP0598277

1. Verfahren zur Korrektur von Gleichspannungs-Fehlersignalen in Empfangssignalen bei direktmischenden Empfangsvorrichtungen in dem ein winkelmoduliertes, empfangenes hochfrequentes Signal in zwei Mischern mit um 90 DEG phasenverschobenen Oszillator-Signalen mit näherungsweise gleicher Frequenz zu zwei in etwa in Quadratur stehenden niederfrequenten ZF-Signalen (I, Q) gemischt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelpunktskoordinaten (MI, MQ) der in Quadratur stehenden niederfrequenten ZF-Signale (I, Q) mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung so bestimmt werden, dass eine Anzahl von Differenzen der quadratischen Radien jeweils zweier, zeitlich aufeinander folgender Punkte (I(t), Q(t), I(t-n), Q(t-n)) minimiert werden und von den Signalen I und Q subtrahiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) die Signale I und Q periodisch abgetastet werden,
- b) von den abgetasteten Signalen I und Q und von den um n Abtastintervalle zurückliegenden Abtastwerten durch Multiplikation mit sich selbst die Quadrate gebildet werden.
- c) die Summe der quadrierten Signale I und Q gebildet werden und davon die um n Abtastintervalle zurückliegenden quadrierten Signale I und Q subtrahiert werden, um das Signal DA(t) zu bilden,
- d) die Differenzen zwischen dem Abtastwert der Signale I und Q und dem jeweiligen um n Abtastintervalle zurückliegendem Abtastwert zu den Signalen DI(t) und DQ(t) gebildet werden,
- e) in einem Rechenwerk aus den in den Verfahrensschritten a), b), c) und d) erzeugten Signalen DI(t), DQ(t) und DA(t) mittels einer Ausgleichsrechnung die Signale MI(t) und MQ(t) bestimmt werden,
- f) in Subtraktionsstufen die Signale MI(t) und MQ(t) jeweils von den Signalen I bzw. Q abgezogen werden, so dass die korrigierten Signale (Ikm, Qkm) entstehen.

3. Vorrichtung zur Korrektur von DC-Anteilen in Empfangssignalen direktmischender Empfangseinrichtungen, ein winkelmoduliertes, empfangenes hochfrequentes Signal in zwei Mischern mit um 90 DEG phasenverschobenen Oszillator-Signalen mit näherungsweise gleicher Frequenz zu zwei etwa in Quadratur stehenden niederfrequenten ZF-Signalen (I, Q) gemischt werden, dadurch gekennzeichnet, dass ein Korrekturglied (15) angeordnet ist, das zur Bestimmung der Mittelpunktskoordinaten (MI, MQ) ausgebildet ist und Mittel zur Subtraktion der Mittelpunktskoordinaten von den I- und Q-Signalen aufweist, wobei das Korrekturglied (15) zur Bestimmung einer Anzahl von Differenzen der quadratischen Radien jeweils zweier zeitlich aufeinander folgender Punkte und zur Minimierung der Differenzen ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Korrekturglied (15)

- a) zur periodischen Abtastung der I- und Q-Signale,
- b) zur Bildung von Quadraten der abgetasteten I- und Q-Werte,
- c) zur Summierung der quadratischen Werte und zur Subtraktion von um n Abtastintervalle zurückliegenden Werten,
- d) zur Subtraktion der I- und Q-Werte von um n Abtastintervalle zurückliegenden Werten,
- e) zur Berechnung der Mittelpunktskoordinaten mittels einer Ausgleichsrechnung und
- f) zur Subtraktion der Mittelpunktskoordinaten von den I- und Q-Werten ausgebildet ist.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

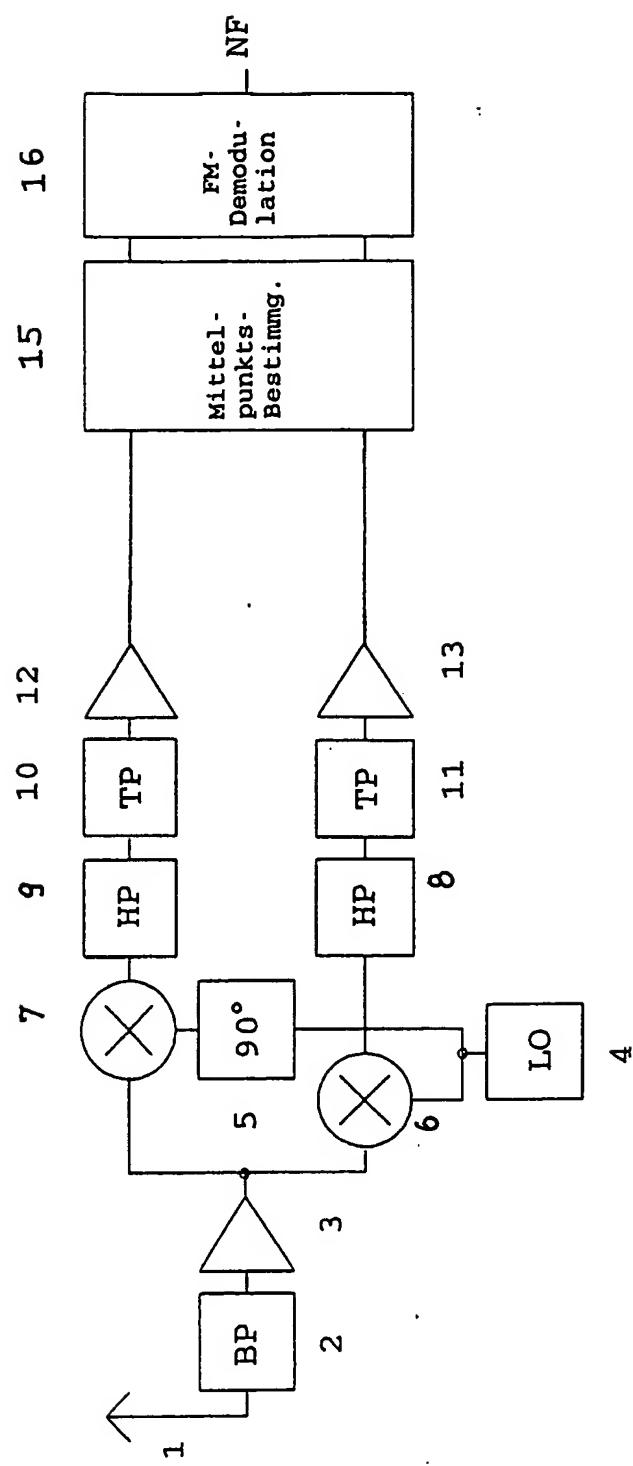


Fig. 1

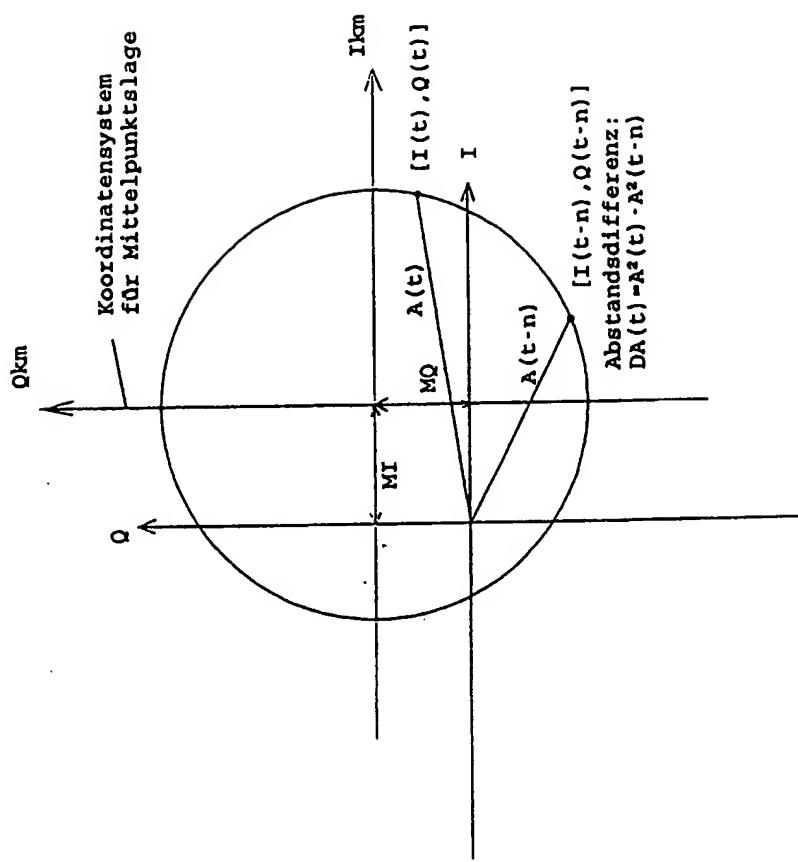


Fig. 2

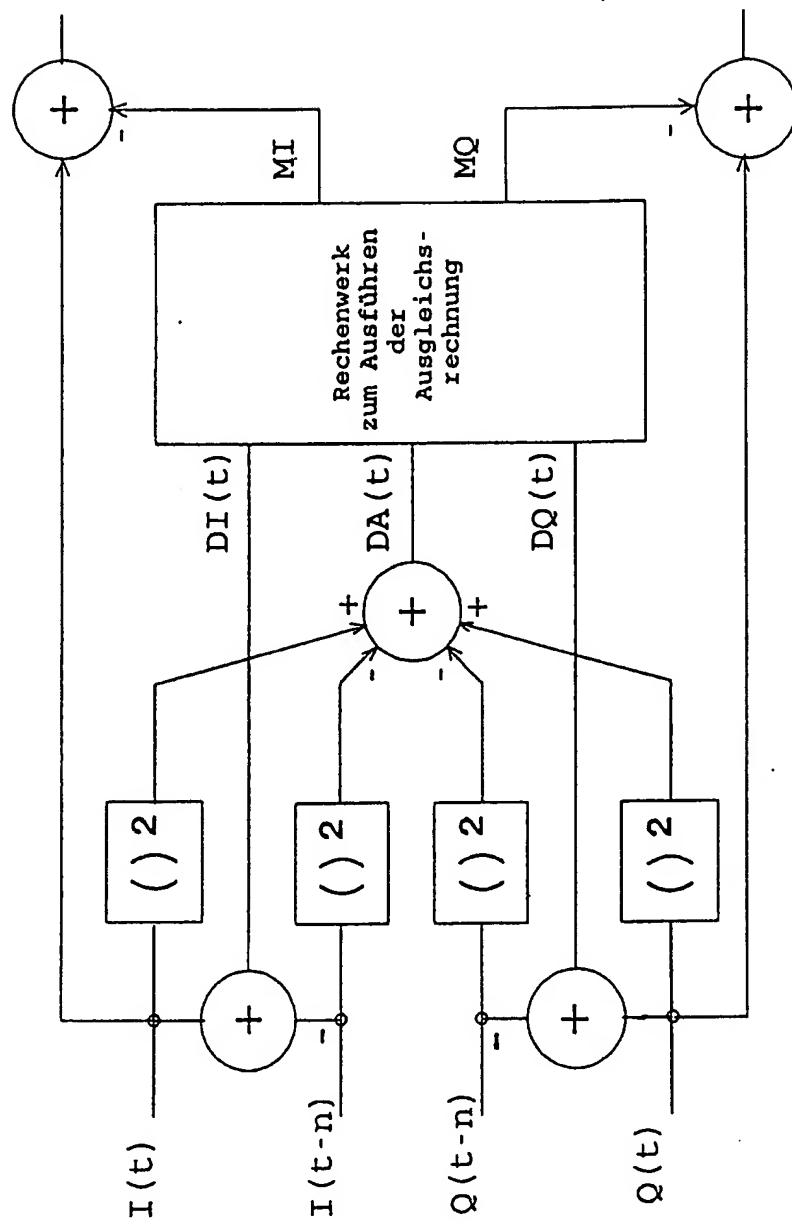


Fig. 3